

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-81068

(43) 公開日 平成6年(1994)3月22日

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
C 2 2 C 23/00				
B 2 2 D 21/04		8926-4E		

審査請求 未請求 請求項の数6(全19頁)

(21) 出願番号	特願平4-257298	(71) 出願人	000005326 本田技研工業株式会社 東京都港区南青山二丁目1番1号
(22) 出願日	平成4年(1992)9月1日	(72) 発明者	小池 精一 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会社 本田技術研究所内
		(72) 発明者	綱島 栄 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会 社本田技術研究所内
		(74) 代理人	弁理士 落合 健 (外1名)

(54) 【発明の名称】 耐熱Mg合金の鑄造方法

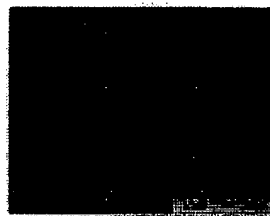
(57) 【要約】

【目的】 優秀な耐熱強度を備えたMg合金を得る。

【構成】 Si含有量が $1.3\text{重量}\% \leq \text{Si} \leq 2.0\text{重量}\%$ であるMg合金組成の素材がデンドライト状 Mg_2Si を含む固液共存域にあるとき、その素材に機械的攪拌処理を施してデンドライト状 Mg_2Si を微細化すると共にその微細 Mg_2Si を均一に分散させ、次いで素材を金型内に注入して凝固させる。 Mg_2Si は低比重で、且つ高融点であることから、微細 Mg_2Si (図1における黒色の小塊状物) を均一に分散させたMg合金は優れた耐熱強度を有する。

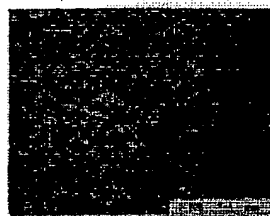
図面代用写真

(a)



写真

(b)



写真

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 Si含有量が $1.3\text{重量}\% \leq \text{Si} \leq 20\text{重量}\%$ であるMg合金組成の素材がデンドライト状Mg₂Siを含む固液共存域にあるとき、その素材に機械的攪拌処理を施して前記デンドライト状Mg₂Siを微細化すると共にその微細Mg₂Siを均一に分散させ、次いで前記素材を凝固させることを特徴とする耐熱Mg合金の鑄造方法。

【請求項2】 前記素材は、Al、Zn、Zr、Y、Nd、Sc、Sm、Ag、La、Ce、Pr、Mn、ThおよびGeから選択される少なくとも一種のMgマトリックス強化用合金元素Aを $A \leq 5\text{重量}\%$ 含有する、請求項1記載の耐熱Mg合金の鑄造方法。

【請求項3】 前記素材は、Mg₂Siの微細化促進元素であるPを $0.005\text{重量}\% \leq P \leq 0.20\text{重量}\%$ 含有する、請求項1または2記載の耐熱Mg合金の鑄造方法。

【請求項4】 Ge含有量が $3.4\text{重量}\% \leq \text{Ge} \leq 20\text{重量}\%$ であるMg合金組成の素材がデンドライト状Mg₂Geを含む固液共存域にあるとき、その素材に機械的攪拌処理を施して前記デンドライト状Mg₂Geを微細化すると共にその微細Mg₂Geを均一に分散させ、次いで前記素材を凝固させることを特徴とする耐熱Mg合金の鑄造方法。

【請求項5】 前記素材は、Al、Zn、Zr、Y、Nd、Sc、Sm、Ag、La、Ce、Pr、Mn、ThおよびSiから選択される少なくとも一種のMgマトリックス強化用合金元素Aを $A \leq 5\text{重量}\%$ 含有する、請求項4記載の耐熱Mg合金の鑄造方法。

【請求項6】 前記素材は、Mg₂Geの微細化促進元素であるPを $0.005\text{重量}\% \leq P \leq 0.20\text{重量}\%$ 含有する、請求項4または5記載の耐熱Mg合金の鑄造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は耐熱Mg合金の鑄造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、耐熱Mg合金としては、低比重で、且つ高融点の金属間化合物であるMg₂SiをMgマトリックスに分散させたMg-Si系合金が知られている。この場合、Mg-Si系合金の耐熱強度、例えば高温下での機械的強度およびクリープ強さを向上させるためには、Mg₂Siを微細化すると共にその微細Mg₂Siを均一に分散させることが必要である。

【0003】 そこで、従来法においてはMg-Si系合金組成の溶湯にP単体等のP系物質を添加してMg₂Siよりなるデンドライトの晶出を抑制するようにしている（特公昭43-20892号公報参照）。

【0004】

2

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら従来法によると、Si含有量が共晶組成（Si=1.3重量%）に近い場合には好結果が得られるものの、より一層の耐熱強度の向上を狙ってSi含有量を20重量%程度と高く設定してMg₂Siの晶出量を増すと、その微細化および均一分散を十分に達成することができない場合があった。これは、Mg₂Si同様に高融点の金属間化合物であるMg₂Geを有するMg-Ge系合金（共晶組成Ge=3.4重量%）についても言える。

【0005】 本発明は前記に鑑み、デンドライト状Mg₂SiまたはMg₂Geの存在量の多少に拘らず、それを確実に微細化すると共に均一に分散させ、これにより要求耐熱強度を備えた耐熱Mg合金を容易に得ることのできる前記鑄造方法を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明に係る耐熱Mg合金の鑄造方法は、Si含有量が $1.3\text{重量}\% \leq \text{Si} \leq 20\text{重量}\%$ であるMg合金組成の素材がデンドライト状Mg₂Siを含む固液共存域にあるとき、その素材に機械的攪拌処理を施して前記デンドライト状Mg₂Siを微細化すると共にその微細Mg₂Siを均一に分散させ、次いで前記素材を凝固させることを特徴とする。

【0007】 また本発明に係る耐熱Mg合金の鑄造方法は、Ge含有量が $3.4\text{重量}\% \leq \text{Ge} \leq 20\text{重量}\%$ であるMg合金組成の素材がデンドライト状Mg₂Geを含む固液共存域にあるとき、その素材に機械的攪拌処理を施して前記デンドライト状Mg₂Geを微細化すると共にその微細Mg₂Geを均一に分散させ、次いで前記素材を凝固させることを特徴とする。

【0008】

【作用】 前記のように機械的攪拌処理を適用すると、デンドライト状Mg₂SiまたはMg₂Geの存在量の多少に拘らず、それを確実に微細化すると共に均一に分散させることが可能となり、これによりSiまたはGeの含有量を適宜調節してMg合金に対する要求耐熱強度に容易に対応することができる。

【0009】 またMg₂SiまたはMg₂Geの微細化に伴い素材の流動性が、Mg₂SiまたはMg₂Geといった固相の現出にも拘らず良好に維持されるので、その素材の凝固に際し空孔等の鑄造欠陥の発生を回避することができる。

【0010】 なお、Si含有量が $\text{Si} < 1.3\text{重量}\%$ である場合またはGe含有量が $\text{Ge} < 3.4\text{重量}\%$ である場合には、素材においてMg₂SiまたはMg₂Geの晶出量が過少となり、一方、 $\text{Si} > 20\text{重量}\%$ である場合または $\text{Ge} > 20\text{重量}\%$ である場合には、Mg₂SiまたはMg₂Geの晶出量が過多となるため、それらを微細化してもMg合金の室温域における靱性が低下する。

50 【0011】

【実施例】耐熱Mg-Si合金の鑄造に当っては、半凝固鑄造法または半溶融鑄造法が適用され、その方法の実施過程に機械的攪拌処理が組込まれる。

【0012】半凝固鑄造法において、その原材料は、Mgの高純度インゴット、Siの高純度フレーク、Mgマトリックスを強化すべく、必要に応じて用いられるAl、Zn、Zr、Y、Nd、Sc、Sm、Ag、La、Ce、Pr、Mn、ThおよびGeから選択される少なくとも一種の合金元素AEの高純度インゴットならびに必要に応じて用いられるMg₂Siの微細化促進元素であるPを含む高純度P系物質を用いて調製される。

【0013】この場合、Si含有量は前記理由から1.3重量% \leq Si \leq 2.0重量%に設定される。またAE含有量はAE \leq 5重量%に設定される。AE $>$ 5重量%ではMg-Si合金の強度は高くなるが伸びが低下する。さらにP系物質としては、AlCuP化合物、赤リン、Mg₃(PO₃)₂等が用いられ、原材料におけるP含有量は0.005重量% \leq P \leq 0.20重量%に設定される。P $<$ 0.005重量%ではMg₂Siの微細化促進効果が少なくなり、一方、P $>$ 0.20重量%ではP添加による微細化促進効果が飽和するからである。

【0014】半凝固鑄造法を適用した耐熱Mg-Si合金の鑄造は次の各工程を経て行われる。即ち、Mg、Siおよび必要に応じて合金元素AEを含む原材料を軟鋼製のつば内に投入し、次いで原材料にArガスを吹付けながらそれを溶解してMg合金組成の溶湯を調製し、その後溶湯に必要に応じてP系物質を添加して熔融状態の素材を得る工程と、素材を降温させてその素材がデンドライト状Mg₂Siを含む固液共存域(半凝固領域)にあるとき、その素材にスタラ等による機械的攪拌処理を施してデンドライト状Mg₂Siを微細化すると共にその微細Mg₂Siを均一に分散させる工程と、素材を金型内に注入して凝固させる工程とを順次行うものである。Mg-Si合金の耐熱強度向上の観点から、微細Mg₂Siの平均粒径Dは $10\mu\text{m}\leq D\leq 100\mu\text{m}$ 、その体積分率Vfは3% \leq Vf \leq 50%であることが望ましい。

【0015】このようにして得られたMg-Si合金は微細Mg₂Siを均一に分散させた金属組織を備え、また鑄造欠陥もないもので、優れた耐熱強度を有する。前記方法によって鑄造されたMg-Si合金には、必要に応じて熱間押し加工が施される。

【0016】半溶融鑄造法としては射出成形法が適用され、したがって原材料としては、前記半凝固鑄造法の場合と同一組成でデンドライト状Mg₂Siを有する粒径0.5~3mmのペレット状のものが用いられる。

【0017】射出成形法の実施に当っては、原材料をホッパー内に投入する、原材料をホッパーからスクリュを備えたバレル内に供給する、原材料をバレル内でスクリュにより攪拌しながら加熱してデンドライト状Mg₂Siを

含み且つ固液共存域(半溶融領域)にある素材を調製し、その素材にスクリュによる機械的攪拌処理を施してデンドライト状Mg₂Siを微細化すると共にその微細Mg₂Siを均一に分散させる、素材を金型内に射出して凝固させる、といった手段が採用される。射出条件の一例を挙げれば次の通りである。Arガス雰囲気、金型のゲート通過時における素材温度650℃、射出速度4m/sec、金型温度150℃。

【0018】以下、半凝固鑄造法を適用した耐熱Mg-Si合金の具体的鑄造例について説明する。

【0019】純度4ナインのMgインゴットおよび純度5ナインのSiフレークを用いて、Mg含有量が96重量%、Si含有量が4重量%で総重量が500gの原材料を調製した。

【0020】原材料を内径120mm、深さ200mmの軟鋼製のつば内に投入し、次いでつばを電気炉内に設置し、その後原材料にArガスを吹付けながらそれを溶解して980℃のMg合金組成の素材を調製した。

【0021】素材を降温させてその温度を750℃に保持することによりデンドライト状Mg₂Siを晶出させ、そのデンドライト状Mg₂Siの体積分率VfがVf \approx 40%となったとき、幅60mm、長さ80mmのスタラを用いてその回転速度200rpm、攪拌時間30分間の条件下で素材に機械的攪拌処理を施した。

【0022】素材温度750℃にて、その素材を、金型における内径40mm、深さ800mmのキャビティに注入して凝固させ、耐熱Mg-4重量%Si合金を得た。

【0023】図1は、前記方法によって得られた耐熱Mg-4重量%Si合金の金属組織を示す顕微鏡写真(100倍)であり、(a)は表層部に、また(b)は心部にそれぞれ該当する。図1において、黒色の小塊状物がMg₂Siであり、本図より、Mg₂Siの微細化と均一分散が図られていることが判る。

【0024】図2は、従来鑄造法、即ち前記と同一組成の溶湯を、それに前記のような機械的攪拌処理を施すことなく、前記と同一の金型に注入することによって得られたMg-4重量%Si合金の金属組織を示す顕微鏡写真(100倍)であり、(a)は表層部に、また(b)は心部にそれぞれ該当する。図2(a)より、前記合金の表層部にはデンドライト状Mg₂Siが晶出していることが明らかであり、また同図(b)より、前記合金の心部にはデンドライト状Mg₂Siおよび比較的大きな塊状Mg₂Siが晶出していることが明らかである。なお、Mg-Si合金に熱間押し加工を施す場合には、押し温度を400℃に、押し比を1.1程度にそれぞれ設定する。

【0025】表1は、前記半凝固鑄造法の適用下で得られた各種Mg-Si合金(1)~(11)および前記従来鑄造法により得られた各種Mg-Si合金(12)~(16)の組成、Mg₂Siの平均粒径D、その

体積分率Vf、室温および200℃における引張強さTSおよび伸びE₁を示す。Mg-Si系合金(6)は図1のものに、またMg-Si系合金(13)は図2のものにそれぞれ該当する。表中、評価の欄において、

「○」印は耐熱Mg合金として適当であることを、また*

*「×」印は耐熱Mg合金として不適当であることをそれぞれ示す。この評価は以下の各表について同じである。

【0026】

【表1】

Mg-Si系合金	化学成分 (重量%)		Mg ₂ Si		室温		200℃		評価
	Si	Mg	D (μm)	Vf (%)	TS (MPa)	E ₁ (%)	TS (MPa)	E ₁ (%)	
(1)	0.5	残部	30	1.0	95	23.1	81	34.1	×
(2)	1.0	残部	50	2.0	142	18.9	122	26.5	×
(3)	1.3	残部	100	3.0	198	17.6	140	25.5	○
(4)	1.5	残部	100	4.0	203	12.0	185	18.0	○
(5)	3.0	残部	100	8.5	240	8.9	215	12.5	○
(6)	4.0	残部	100	10.0	245	8.0	215	11.5	○
(7)	7.0	残部	100	20.0	255	5.1	220	8.2	○
(8)	10.0	残部	100	27.5	286	3.5	237	4.0	○
(9)	17.0	残部	100	45.5	292	3.2	251	3.2	○
(10)	20.0	残部	100	49.5	295	3.0	255	3.2	○
(11)	22.0	残部	300	55.5	305	0	264	1.2	×
(12)	1.5	残部	デンドライト状		145	0	-	-	×
(13)	4.0	残部			147	0	-	-	×
(14)	7.0	残部			150	0	-	-	×
(15)	10.0	残部			150	0	-	-	×
(16)	17.0	残部			159	0	-	-	×

表1から明らかなように、Mg-Si系合金(3)～(10)はSi含有量が前記範囲に収められており、また機械的攪拌処理を組込まれた半凝固鋳造法の適用下で得られたことから微細Mg₂Siの均一分散とその適当な分散量(Vf)とによって優れた耐熱強度を有する。

【0027】表2は、Mgマトリックス強化用合金元素

AEとしてAl、Zr、YまたはNdを用い、前記半凝固鋳造法の適用下で得られた各種Mg-Si系合金(17)～(28)の組成、Mg₂Siの平均粒径D、その体積分率Vf、室温および200℃における引張強さTSおよび伸びE₁を示す。なお、各合金(17)～(28)には鋳造後T6処理が施されている。

【0028】

* * 【表2】

Mg-Si 系合金	化 学 成 分 (重 量 %)						Mg: Si			室 温		2 0 0 ℃		評 価
	Si	Al	Zr	Y	Nd	Mg	D (μm)	Vf (%)	TS (MPa)	EL (%)	TS (MPa)	EL (%)		
(17)	3.0	0.5	-	-	-	残部	100	8.5	255	6.2	215	10.5	○	
(18)	3.0	4.0	-	-	-	残部	70	9.0	294	3.3	227	4.1	○	
(19)	3.0	7.0	-	-	-	残部	100	9.0	323	0	257	2.1	×	
(20)	3.0	-	0.5	-	-	残部	100	8.2	255	9.5	210	12.9	○	
(21)	3.0	-	4.0	-	-	残部	70	8.7	280	4.4	235	5.5	○	
(22)	3.0	-	7.0	-	-	残部	100	8.7	299	0.5	259	2.5	×	
(23)	3.0	-	-	0.5	-	残部	100	8.3	201	8.9	175	5.5	○	
(24)	3.0	-	-	4.0	-	残部	100	8.5	240	5.4	214	3.2	○	
(25)	3.0	-	-	7.0	-	残部	100	9.0	341	0	312	1.1	×	
(26)	3.0	-	-	-	0.5	残部	100	8.5	240	9.5	210	12.5	○	
(27)	3.0	-	-	-	4.0	残部	100	8.2	295	2.0	230	3.5	○	
(28)	3.0	-	-	-	7.0	残部	100	8.7	362	0	270	1.7	×	

表3は、Mgマトリックス強化用合金元素AEとしてSc、SmまたはAgを用い、前記半凝固鑄造法の適用下で得られた各種Mg-Si系合金(29)～(37)の組成、Mg₂Siの平均粒径D、その体積分率Vf、室温および200℃における引張強さTSおよび伸びEL

を示す。なお、各合金(29)～(37)には鑄造後T6処理が施されている。

【0029】

【表3】

Mg-Si 系合金	化 学 成 分 (重量%)						Mg ₂ Si		室 温		200℃		評 価
	Si	Sc	Sm	Ag	Mg		D (μm)	Vf (%)	TS (MPa)	E _L (%)	TS (MPa)	E _L (%)	
(29)	3.0	0.5	-	-	-	残部	100	8.2	252	8.0	210	10.5	○
(30)	3.0	4.0	-	-	-	残部	100	8.3	291	4.2	230	6.0	○
(31)	3.0	7.0	-	-	-	残部	100	8.2	304	0	270	1.0	×
(32)	3.0	-	0.5	-	-	残部	100	8.5	232	6.3	190	10.0	○
(33)	3.0	-	4.0	-	-	残部	100	9.0	270	3.2	200	5.0	○
(34)	3.0	-	7.0	-	-	残部	100	8.7	330	0	275	2.0	×
(35)	3.0	-	-	0.5	-	残部	100	8.2	241	5.2	205	7.5	○
(36)	3.0	-	-	4.0	-	残部	80	8.3	279	2.7	235	3.0	○
(37)	3.0	-	-	7.0	-	残部	100	8.7	340	0	280	0.5	×

表4は、Mgマトリックス強化用合金元素AEとしてLa、CeまたはPrを用い、前記半凝固鑄造法の適用下で得られた各種Mg-Si系合金(38)～(46)の組成、Mg₂Siの平均粒径D、その体積分率Vf、室温および200℃における引張強さTSおよび伸びE_L

を示す。なお、各合金(38)～(46)には鑄造後T6処理が施されている。

[0030]

[表4]

Mg-Si 系合金	化 学 成 分 (重量%)					Mg ₂ Si		室 温		200℃		評 価
	Si	La	Ce	Pr	Mg	D (μm)	Vf (%)	TS (MPa)	EL (%)	TS (MPa)	EL (%)	
(38)	3.0	0.5	-	-	残部	100	8.5	250	5.1	190	7.0	○
(39)	3.0	4.0	-	-	残部	100	8.0	289	3.1	220	4.0	○
(40)	3.0	7.0	-	-	残部	100	8.2	290	0.5	230	1.5	×
(41)	3.0	-	0.5	-	残部	100	8.0	221	9.9	190	12.0	○
(42)	3.0	-	4.0	-	残部	100	8.5	255	4.4	225	5.5	○
(43)	3.0	-	7.0	-	残部	100	8.2	278	1.2	250	1.8	×
(44)	3.0	-	-	0.5	残部	100	8.3	220	3.5	170	6.5	○
(45)	3.0	-	-	4.0	残部	100	8.7	291	2.9	230	5.0	○
(46)	3.0	-	-	7.0	残部	100	9.0	342	0	280	2.0	×

表5は、Mgマトリックス強化用合金元素AEとしてMn、ThまたはGeを用い、前記半凝固鑄造法の適用下で得られた各種Mg-Si系合金(47)～(55)の組成、Mg₂Siの平均粒径D、その体積分率Vf、室温および200℃における引張強さTSおよび伸びEL

を示す。なお、各合金(47)～(55)には鑄造後T6処理が施されている。

【0031】

【表5】

Mg-Si 系合金	化 学 成 分 (重量%)					Mg:Si		室 温		200℃		評 価
	Si	Mn	Th	Ge	Mg	D (μm)	Vf (%)	TS (MPa)	EL (%)	TS (MPa)	EL (%)	
(47)	3.0	0.5	-	-	残部	100	8.0	251	5.5	210	8.5	○
(48)	3.0	4.0	-	-	残部	75	8.5	304	3.2	250	5.0	○
(49)	3.0	7.0	-	-	残部	100	8.7	308	0	260	0.5	×
(50)	3.0	-	0.5	-	残部	100	8.2	218	9.2	195	12.0	○
(51)	3.0	-	4.0	-	残部	80	8.5	295	4.1	230	12.0	○
(52)	3.0	-	7.0	-	残部	100	8.0	305	0.7	275	1.5	×
(53)	3.0	-	-	0.5	残部	100	8.3	209	8.1	170	12.0	○
(54)	3.0	-	-	4.0	残部	80	9.0	266	4.2	205	6.5	○
(55)	3.0	-	-	7.0	残部	100	8.5	319	0	270	0.7	×

表6は、Mgマトリックス強化用合金元素AEとしてAlおよびZnを用い、前記半凝固鑄造法の適用下で得られた各種Mg-Si系合金(56)～(58)の組成、Mg:Siの平均粒径D、その体積分率Vf、室温および200℃における引張強さTSおよび伸びELを示す。なお、各合金(56)～(58)には鑄造後T6処理が施されている。

【0032】

【表6】

Mg-Si 系合金	化学成分 (重量%)				Mg ₂ Si		室温		200℃		評価
	Si	Al	Zn	Mg	D (μm)	Vf (%)	TS (MPa)	EL (%)	TS (MPa)	EL (%)	
(56)	3.0	0.5	0.5	残部	75	8.5	261	7.5	228	10.5	○
(57)	3.0	0.5	3.0	残部	75	9.0	295	5.5	248	5.1	○
(58)	3.0	0.5	5.0	残部	100	8.7	304	1.2	260	3.8	×

表7は、Mgマトリックス強化用合金元素AEとしてAl、ZnおよびYを用いるか、またはAl、ZnおよびYと共にMg₂Siの微細化促進元素であるPを用い、前記半凝固鑄造法の適用下で得られた各種Mg-Si系合金(59)～(69)の組成、Mg₂Siの平均粒径D、その体積分率Vf、室温および200℃における引張強さTSおよび伸びELを示す。なお、各合金(59)～(69)には鑄造後T6処理が施されている。

【0033】

10 【表7】

20

30

Mg-Si 系合金	化 学 成 分 (重 量 %)						Mg: Si			室 温		2 0 0 ℃		評 価
	Si	Al	Zn	Y	P	Mg	D (μm)	Vf (%)	TS (MPa)	E _L (%)	TS (MPa)	E _L (%)		
(59)	3.0	0.5	0.5	0.5	—	残部	100	8.0	292	5.5	242	6.9	○	
(60)	3.0	0.5	0.5	1.0	—	残部	100	8.0	315	4.1	255	5.5	○	
(61)	3.0	0.5	0.5	2.0	—	残部	100	8.0	324	3.5	289	4.1	○	
(62)	3.0	0.5	0.5	4.0	—	残部	100	8.0	359	2.0	320	3.0	○	
(63)	3.0	0.5	0.5	5.0	—	残部	100	8.0	381	0	340	0.5	×	
(64)	3.0	0.5	0.5	0.5	0.01	残部	15	8.0	281	8.3	250	10.0	○	
(65)	3.0	0.5	0.5	1.0	0.01	残部	15	8.0	320	5.9	270	8.2	○	
(66)	3.0	0.5	0.5	2.5	0.01	残部	15	8.0	345	4.6	290	7.6	○	
(67)	3.0	0.5	0.5	0.5	0.05	残部	10	8.0	290	9.5	235	12.5	○	
(68)	3.0	0.5	0.5	0.5	0.10	残部	10	8.0	283	9.8	240	12.5	○	
(69)	3.0	0.5	0.5	0.5	0.25	残部	10	8.0	283	10.0	230	13.0	○	

表7、合金(67)～(69)より、P含有量をその上限値(0.20重量%)を超えるように設定してもMg:Siの平均粒径Dが変化しないことが判る。

【0034】耐熱Mg-Ge系合金の製造に当っては、前記同様に半凝固鑄造法または半溶融鑄造法が適用され、その方法の実施過程に機械的攪拌処理が組込まれる。

【0035】半凝固鑄造法において、その原材料は、Mgの高純度インゴット、Geの高純度フレーク、Mgマトリックスを強化すべく、必要に応じて用いられるAl、Zn、Zr、Y、Nd、Sc、Sm、Ag、La、

40 Ce、Pr、Mn、ThおよびSiから選択される少なくとも一種の合金元素AEの高純度インゴットならびに必要なに応じて用いられるMg:Geの微細化促進元素であるPを含む高純度P系物質を用いて調製される。

【0036】この場合、Ge含有量は前記理由から3.4重量% \leq Ge \leq 20重量%に設定される。またAE含有量はAE \leq 5重量%に設定される。AE>5重量%ではMg-Ge系合金の強度は高くなるが伸びが低下する。さらにP系物質としては、AlCuP化合物、赤リン、Mg₃(PO₃)₂等が用いられ、原材料におけるP含有量は0.005重量% \leq P \leq 0.20重量%に設

19

定される。 $P < 0.005$ 重量%では Mg_2Ge の微細化促進効果が少なくなり、一方、 $P > 0.20$ 重量%では P 添加による微細化促進効果が飽和するからである。

【0037】半凝固鑄造法を適用した耐熱 $Mg-Ge$ 系合金の鑄造は次の各工程を経て実施される。即ち、 Mg 、 Ge および必要に応じて合金元素 A を含む原材料を軟鋼製のつば内に投入し、次いで原材料に Ar ガスを吹付けながらそれを溶解して Mg 合金組成の溶湯を調製し、その後溶湯に必要に応じて P 系物質を添加して溶融状態の素材を得る工程と、素材を降温させてその素材がデンドライト状 Mg_2Ge を含む固液共存域（半凝固領域）にあるとき、その素材にスタラ等による機械的攪拌処理を施してデンドライト状 Mg_2Ge を微細化すると共にその微細 Mg_2Ge を均一に分散させる工程と、素材を金型内に注入して凝固させる工程とを順次行うものである。 $Mg-Ge$ 系合金の耐熱強度向上の観点から、微細 Mg_2Ge の平均粒径 D は $5\mu m \leq D \leq 100\mu m$ 、その体積分率 V_f は $6\% \leq V_f \leq 50\%$ であることが望ましい。

【0038】このようにして得られた $Mg-Ge$ 系合金は微細 Mg_2Ge を均一に分散させた金属組織を備え、また鑄造欠陥もないもので、優れた耐熱強度を有する。前記方法によって鑄造された $Mg-Ge$ 系合金には、必要に応じて熱間押出し加工が施される。

【0039】半溶融鑄造法としては射出成形法が適用され、したがって原材料としては、前記半凝固鑄造法の場合と同一組成でデンドライト状 Mg_2Ge を有する粒径 $0.5 \sim 3mm$ のペレット状のものが用いられる。

【0040】射出成形法の実施に当っては、原材料をホッパ内に投入する、原材料をホッパからスクリュを備えたバレル内に供給する、原材料をバレル内でスクリュにより攪拌しながら加熱してデンドライト状 Mg_2Ge を含み、且つ固液共存域（半溶融領域）にある素材を調製し、その素材にスクリュによる機械的攪拌処理を施してデンドライト状 Mg_2Ge を微細化すると共にその微細 Mg_2Ge を均一に分散させる、素材を金型内に射出し

20

て凝固させる、といった手段が採用される。射出条件の一例を挙げれば次の通りである。 Ar ガス雰囲気、金型のゲート通過時における素材温度 $650^\circ C$ 、射出速度 $4m/sec$ 、金型温度 $150^\circ C$ 。

【0041】以下、半凝固鑄造法を適用した耐熱 $Mg-Ge$ 系合金の具体的鑄造例について説明する。

【0042】純度4ナインの Mg インゴットおよび純度5ナインの Ge フレークを用いて、 Mg 含有量が95重量%、 Ge 含有量が5重量%で総重量が500gの原材料を調製した。

【0043】原材料を内径120mm、深さ200mmの軟鋼製のつば内に投入し、次いでつばを電気炉内に設置し、その後原材料に Ar ガスを吹付けながらそれを溶解して $800^\circ C$ の Mg 合金組成の素材を調製した。

【0044】素材を降温させてその温度を $660^\circ C$ に保持することによりデンドライト状 Mg_2Ge を晶出させ、そのデンドライト状 Mg_2Ge の体積分率 V_f が $V_f \approx 30\%$ となったとき、幅60mm、長さ80mmのスタラを用いてその回転速度300rpm、攪拌時間40分間の条件下で素材に機械的攪拌処理を施した。

【0045】素材温度 $660^\circ C$ にて、その素材を、金型における内径40mm、深さ800mmのキャビティに注入して凝固させ、耐熱 $Mg-5$ 重量% Ge 合金を得た。なお、 $Mg-Ge$ 系合金に熱間押出し加工を施す場合には、押出し温度を $400^\circ C$ に、押出し比を1.1程度にそれぞれ設定する。

【0046】表8は、前記半凝固鑄造法の適用下で得られた各種 $Mg-Ge$ 系合金(1)～(11)および前記従来鑄造法により得られた各 $Mg-Ge$ 系合金(12)～(14)の組成、 Mg_2Ge の平均粒径 D 、その体積分率 V_f 、室温および $200^\circ C$ における引張強さ TS および伸び E_1 を示す。 $Mg-Ge$ 系合金(5)は前記具体例で述べたものに該当する。

【0047】

【表8】

Mg-Ge 系合金	化 学 成 分 (重量%)		Mg ₂ Ge		室 温	200℃	評 価
	Ge	Mg	D (μm)	Vf (%)	TS (MPa)	El (%)	
(1)	2.0	残部	50	3.0	90	25.0	×
(2)	3.0	残部	50	5.0	110	18.0	×
(3)	3.4	残部	100	6.0	150	14.0	○
(4)	4.0	残部	100	6.5	153	12.5	○
(5)	5.0	残部	100	8.5	170	11.0	○
(6)	11.0	残部	100	18.0	185	10.0	○
(7)	15.0	残部	100	25.0	230	5.7	○
(8)	19.0	残部	100	31.5	250	3.5	○
(9)	20.0	残部	100	34.0	255	3.1	○
(10)	22.0	残部	250	35.0	280	1.2	×
(11)	25.0	残部	300	41.5	270	0	×
(12)	5.0	残部	デンドライト状	9.0	120	2.0	×
(13)	11.0	残部		18.5	110	1.0	×
(14)	19.0	残部		32.0	105	0.5	×

表8から明らかなように、Mg-Ge系合金(3)～(9)は、Ge含有量が前記範囲に収められており、また機械的攪拌処理を組込まれた半凝固造法の適用下で得られたことから、微細Mg₂Geの均一分散とその適当な分散量(Vf)とによって優れた耐熱強度を有する。従来鋳造法によるMg-Ge系合金(12)～(14)において、そのデンドライト状Mg₂Geの平均粒径Dは500～1000μmであった。

【0048】表9は、Mgマトリックス強化用合金元素

40 AEとしてAl、Zn、ZrまたはYを用い、前記半凝固造法の適用下で得られた各種Mg-Ge系合金(15)～(26)の組成、Mg₂Geの平均粒径D、その体積分率Vf、室温および200℃における引張強さTSおよび伸びElを示す。なお、各合金(15)～(26)には鋳造後T6処理が施されている。

【0049】

【表9】

Mg-Ge 系合金	化 学 成 分 (重 量 %)						Mg: Ge			室 温		2 0 0 ℃		評 価
	Ge	Al	Zn	Zr	Y	Mg	D (μ m)	Vf (%)	TS (MPa)	E _L (%)	TS (MPa)	E _L (%)		
(15)	5.0	0.5	-	-	-	残部	100	8.0	200	9.0	170	13.0	○	
(16)	5.0	4.0	-	-	-	残部	50	8.0	240	7.0	200	9.0	○	
(17)	5.0	7.0	-	-	-	残部	100	8.5	290	1.0	260	1.5	×	
(18)	5.0	-	0.5	-	-	残部	100	8.5	190	8.0	160	12.0	○	
(19)	5.0	-	4.0	-	-	残部	70	9.0	210	7.0	190	9.5	○	
(20)	5.0	-	7.0	-	-	残部	100	8.5	230	1.0	190	1.5	×	
(21)	5.0	-	-	0.5	-	残部	100	8.2	195	9.0	160	11.5	○	
(22)	5.0	-	-	4.0	-	残部	70	8.3	220	6.5	190	8.5	○	
(23)	5.0	-	-	7.0	-	残部	100	8.0	230	1.8	200	2.5	×	
(24)	5.0	-	-	-	0.5	残部	100	8.5	190	9.0	165	11.0	○	
(25)	5.0	-	-	-	4.0	残部	100	8.5	220	6.0	200	8.0	○	
(26)	5.0	-	-	-	7.0	残部	100	9.0	230	1.2	190	2.5	×	

表10は、Mgマトリックス強化用合金元素AEとして
Nd、Sc、SmまたはAgを用い、前記半凝固鑄造法
の適用下で得られた各種Mg-Ge系合金(27)～
(38)の組成、Mg:Geの平均粒径D、その体積分
率Vf、室温および200℃における引張強さTSおよ

び伸びELを示す。なお、各合金(27)～(38)に
は鑄造後T6処理が施されている。

【0050】

【表10】

25

26

Mg-Ge 系合金	化 学 成 分 (重 量 %)						Mg: Ge			室 温		2 0 0 ℃		評 価
	Ge	Nd	Sc	Sm	Ag	Mg	D (μm)	Vf (%)	TS (MPa)	E _L (%)	TS (MPa)	E _L (%)		
(27)	5.0	0.5	-	-	-	残部	100	8.5	175	9.5	150	12.0	○	
(28)	5.0	4.0	-	-	-	残部	100	9.0	200	8.0	160	10.0	○	
(29)	5.0	7.0	-	-	-	残部	100	9.0	250	1.5	200	3.0	×	
(30)	5.0	-	0.5	-	-	残部	100	8.0	165	10.0	150	13.0	○	
(31)	5.0	-	4.0	-	-	残部	100	8.3	200	7.0	175	10.0	○	
(32)	5.0	-	7.0	-	-	残部	100	8.5	220	1.0	210	2.5	×	
(33)	5.0	-	-	0.5	-	残部	100	8.2	170	9.5	155	10.0	○	
(34)	5.0	-	-	4.0	-	残部	100	8.5	210	7.0	180	10.0	○	
(35)	5.0	-	-	7.0	-	残部	100	8.5	210	1.5	190	2.0	×	
(36)	5.0	-	-	-	0.5	残部	100	8.5	190	9.0	175	13.0	○	
(37)	5.0	-	-	-	4.0	残部	100	8.7	230	7.5	200	9.0	○	
(38)	5.0	-	-	-	7.0	残部	100	8.7	240	1.0	210	1.5	×	

表11は、Mgマトリックス強化用合金元素AEとして
La、CeまたはPrを用い、前記半凝固铸造法の適用
下で得られた各種Mg-Ge系合金(39)~47)の
組成、Mg₂Geの平均粒径D、その体積分率Vf、室
温および200℃における引張強さTSおよび伸びEL

を示す。なお、各合金(39)~(47)には铸造後T
6処理が施されている。

【0051】

【表11】

Hg-Ge 系合金	化 学 成 分 (重量%)					Mg ₂ Ge		室 温		200℃		評価
	Ge	La	Ce	Pr	Mg	D (μm)	Vf (%)	TS (MPa)	E ₁ (%)	TS (MPa)	E ₁ (%)	
(39)	5.0	0.5	-	-	残部	100	8.0	195	8.0	165	11.0	○
(40)	5.0	4.0	-	-	残部	100	8.2	210	6.5	190	8.5	○
(41)	5.0	7.0	-	-	残部	100	8.5	230	1.5	200	2.0	×
(42)	5.0	-	0.5	-	残部	100	8.2	165	10.0	150	11.0	○
(43)	5.0	-	4.0	-	残部	100	8.7	200	7.0	165	10.0	○
(44)	5.0	-	7.0	-	残部	100	8.5	210	1.0	190	3.0	×
(45)	5.0	-	-	0.5	残部	100	8.2	170	9.0	150	10.0	○
(46)	5.0	-	-	4.0	残部	100	8.0	190	6.5	170	9.0	○
(47)	5.0	-	-	7.0	残部	100	8.5	210	1.0	175	1.5	×

表12は、Mgマトリックス強化用合金元素AEとしてMn、ThまたはSiを用い、前記半凝固鑄造法の適用下で得られた各種Mg-Ge系合金(48)～(56)の組成、Mg₂Geの平均粒径D、その体積分率Vf、室温および200℃における引張強さTSおよび伸びE

を示す。なお、各合金(48)～(56)には鑄造後T6処理が施されている。

【0052】

【表12】

Mg-Ge 系合金	化 学 成 分 (重量%)					Mg ₂ Ge		室 温		200℃		評 価
	Ge	Mn	Th	Si	Mg	D (μm)	Vf (%)	TS (MPa)	E _L (%)	TS (MPa)	E _L (%)	
(48)	5.0	0.5	-	-	残部	100	9.0	175	9.0	160	11.0	○
(49)	5.0	4.0	-	-	残部	70	8.2	200	7.0	180	9.5	○
(50)	5.0	7.0	-	-	残部	100	8.7	230	1.8	205	2.0	×
(51)	5.0	-	0.5	-	残部	100	8.0	180	8.0	155	10.5	○
(52)	5.0	-	4.0	-	残部	70	8.3	195	6.5	170	8.0	○
(53)	5.0	-	7.0	-	残部	100	8.3	220	1.0	190	1.8	×
(54)	5.0	-	-	0.5	残部	100	9.0	170	10.0	155	13.0	○
(55)	5.0	-	-	4.0	残部	100	15.0	240	6.5	200	9.0	○
(56)	5.0	-	-	7.0	残部	100	20.0	260	1.0	210	3.0	×

表13は、Mgマトリックス強化用合金元素AEとしてAlおよびZnを用い、前記半凝固鑄造法の適用下で得られた各種Mg-Ge系合金(57)～(63)の組成、Mg₂Geの平均粒径D、その体積分率Vf、室温および200℃における引張強さTSおよび伸びE_Lを

示す。なお、各合金(57)～(63)には鑄造後T6処理が施されている。

【0053】

【表13】

Mg-Ge 系合金	化 学 成 分 (重 量 %)				Mg ₂ Ge		室 温		200℃		評 価
	Ge	Al	Zn	Mg	D (μ m)	Vf (%)	TS (MPa)	EL (%)	TS (MPa)	EL (%)	
(57)	5.0	0.5	0.5	残部	50	9.0	190	11.0	170	13.0	○
(58)	5.0	0.5	3.5	残部	100	8.7	250	7.0	210	10.5	○
(59)	5.0	0.5	4.5	残部	100	9.0	260	3.3	220	4.5	○
(60)	5.0	0.5	5.5	残部	100	9.0	270	1.0	240	2.5	×
(61)	5.0	3.5	0.5	残部	70	9.0	255	8.0	220	11.0	○
(62)	5.0	3.5	3.5	残部	100	10.0	275	1.2	235	2.0	×
(63)	5.0	5.5	0.5	残部	100	10.0	270	1.0	240	1.8	×

表14は、Mg₂Geの微細化促進元素であるPを用い、前記半凝固鑄造法の適用下で得られた各種Mg-Ge系合金(64)～(66)の組成、Mg₂Geの平均粒径D、その体積分率Vf、室温および200℃における引張強さTSおよび伸びELを示す。

【0054】

【表14】

Mg-Ge 系合金	化 学 成 分 (重 量 %)			Mg ₂ Ge		室 温		200℃		評 価
	Ge	P	Mg	D (μm)	Vf (%)	TS (MPa)	EL (%)	TS (MPa)	EL (%)	
(64)	4.0	0.005	残部	15	7.0	165	12.0	130	17.0	○
(65)	5.0	0.05	残部	10	8.0	180	11.0	155	17.0	○
(66)	11.0	0.20	残部	10	18.0	200	9.5	180	16.0	○

【0055】

【発明の効果】請求項1または請求項4記載の発明によれば、デンドライト状Mg₂Siまたはデンドライト状Mg₂Geの存在量の多少に拘らず、それを確実に微細化すると共に均一に分散させることができ、これにより要求耐熱強度を備えた耐熱Mg合金を容易に得ることができる。

【0056】また請求項2または請求項5記載の発明によれば、Mgマトリックスを強化して耐熱強度を一層向上させた耐熱Mg合金を得ることができる。

【0057】さらに請求項3または請求項6記載の発明によれば、Mg₂SiまたはMg₂Geをさらに微細化して耐熱強度をなお一層向上させた耐熱Mg合金を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

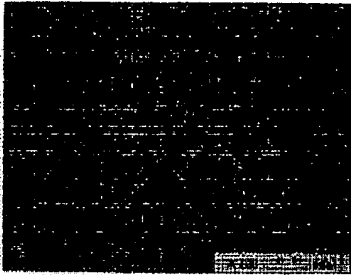
【図1】本発明方法によって得られたMg-4重量%Si合金の金属組織を示す顕微鏡写真であり、(a)は表層部に、(b)は心部にそれぞれ該当する。

【図2】従来法によって得られたMg-4重量%Si合金の金属組織を示す顕微鏡写真であり、(a)は表層部に、(b)は心部にそれぞれ該当する。

【図1】

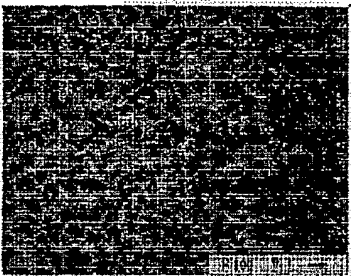
画面代用写真

(a)



写 真

(b)

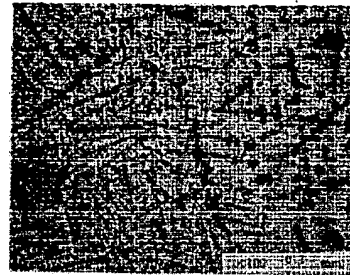


写 真

【図2】

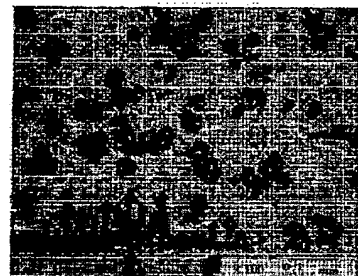
画面代用写真

(a)



写 真

(b)



写 真